



MODÁLNÍ SLOŽENÍ A GAMASPEKTROMETRIE PSAMITŮ MORAVICKÉHO SOUVRSTVÍ: DŮSLEDKY PRO PROVENIENČNÍ STUDIE SEDIMENTŮ KULMSKÉ FACIE

Modal composition and gamma-ray spectrometry of sandstones of the Moravice Formation:
implications for provenance studies of the Culm facies siliciclastics

Ondřej Bábek¹, Antonín Přichystal², Tomáš Lehotský¹

¹ Katedra geologie, PŘF Univerzity Palackého, Tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc; e-mail: babek@prfnw.upol.cz,
lehotsky@prfnw.upol.cz

² Ústav geologických věd PŘF Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: prichy@sci.muni.cz

(15-32 Opava, 15-33 Moravský Beroun, 15-34 Vítkov, 25-11 Hlubočky, 25-12 Hranice)

Key words: *Moravo-Silesian Culm basin, sandstone provenance, Gazzi-Dickinson method,
gamma-ray spectrometry, foreland basin*

Abstract

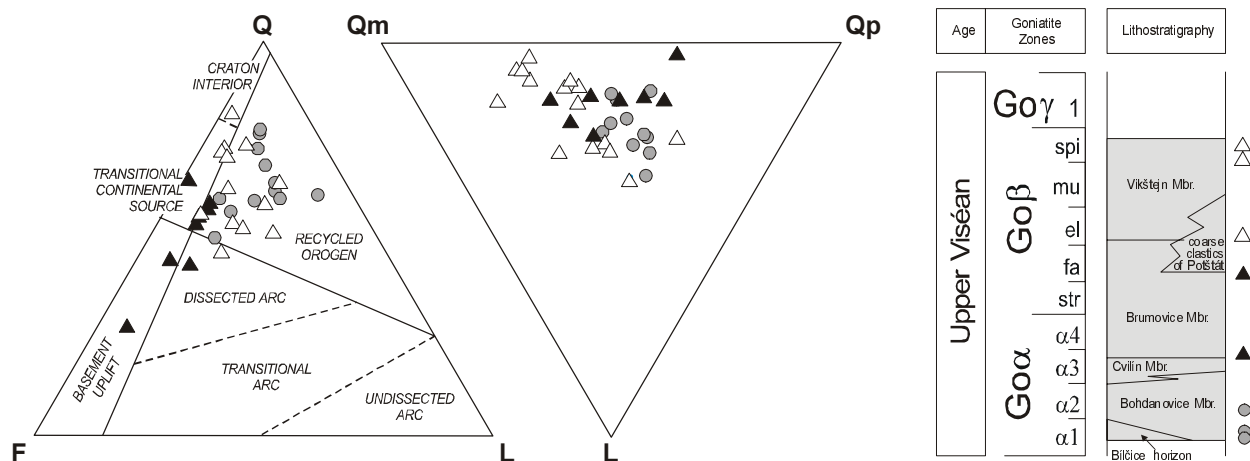
Most provenance studies based on the Gazzi-Dickinson method of detrital mode analysis indicate that the flysch siliciclastics of the Nízký Jeseník Mts (Lower Viséan to lowermost Namurian) have recycled-orogen to dissected-arc provenance, but distinct stratigraphic shifts in sandstone composition were traced between individual formations. This provenance study reveals a distinct stratigraphic trend in sandstone composition in one of the flysch formations in the Nízký Jeseník Mts, the Moravice Formation of Upper Viséan age. This compositional trend reflects a distinct shift in general lithology in the source area from low-grade metamorphic / sedimentary lithology to high-grade metamorphic one. Gamma-ray spectrometry and magnetic susceptibility measurements show stratigraphic trends, which can be interpreted in similar terms as the results from the detrital-mode analysis. Two-variable statistics of individual detrital modes plotted against gamma-ray and magnetic susceptibility measurements reveals good correlation to exist between K-feldspar contents and contents of U, Th and values of total activity as well as between total lithic grain contents and values of magnetic susceptibility.

Interpretace modálních analýz psamitických a pefitických sedimentů karbonského flyše Nízkého Jeseníku včetně moravického souvrství (MS), získané tzv. "Gazzi-Dickinsonovou" metodou (např. Dickinson - Suczek 1979, Ingersoll et al. 1984, Dickinson 1985) byly v minulosti prezentovány L. Mašterou (např. 1987, 1997, 1998). Zdroj materiálu MS jako celku odpovídá převážně poli recyklovaného orogénu s přechody do pole magmatického oblouku (Maštera, opus cit.). Obecně vzato, flyš Nízkého Jeseníku vykazuje zřetelné posuny v modálním i chemickém složení psamitických a pefitických sedimentů mezi jednotlivými souvrstvími (Kumpers - Martinec 1995, Maštera 1997) a naopak, modální složení sedimentu se často používá jako alternativní kritérium pro vymapování flyšových souvrství. S ohledem na heterogenní charakter sedimentace MS (rozdíly mezi jeho spodní a svrchní částí, Dvořák 1994) jsme se v tomto studiu pokusili zjistit, zda lze vystopovat detailnější stratigrafické trendy ve složení psamitických sedimentů uvnitř MS. Pro účely této zprávy jsme využili Gazzi-Dickinsonovu metodiku a doplnili ji terénním měřením gamaspektrometrických vlastností a magnetické susceptibilitu hornin. Cílem tohoto studia bylo: (a) zjistit případné stratigrafické trendy či anomálie uvnitř MS, které by mohly přispět k interpretaci dynamiky výplně sedimentační pánve

MS; (b) zjistit, zda jsou gamaspektrometrické vlastnosti / magnetická susceptibilita řízeny minerálním složením sedimentu a, pokud ano, jak.

Vzorky na modální analýzy byly odebírány z poloh středně zrnitých a hrubozrnných drob o mocnosti 0,5 m až 10 m, které byly interpretovány jako uloženiny vysoko-hustotních turbiditních proudů (Lowe 1982) nebo písčitých úlomkotoků (Shanmugam 1996). Pro kvantitativní modální analýzy jsme využili Gazzi-Dickinsonovu metodu s vyhodnocením 300 zrn na jeden výbrus. Zrna byla zařazena do následujících minerálních skupin: křemen monominerální (Qm) a polykrystalický (Qp), živce draselné (Kf) a sodno-vápenaté (Pf), litické klasty hornin sedimentárních (Ls), vulkanických (Lv) a metamorfovaných (Lm), detritický biotit (Bi) a muskovit (Mu). Obsahy ²³⁸U, ²³²Th (ppm) a ⁴⁰K (%), celková aktivita horniny [Bq.kg⁻¹, ekvivalentní obsahu U v ppm] a magnetická susceptibilita [SI jednotky] byly měřeny terénním gamaspektrometrem Exploranium GR-130 G a terénním kapametrem KT – 5 v místech odběru vzorků pro modální analýzy. Průměrné obsahy U, Th a K byly počítány vždy z nejméně 5 měření na lokalitě, magnetická susceptibilita z nejméně 10 měření.

Psamity MS můžeme charakterizovat jako křemenlitické až křemen-živcové droby s průměrnými obsahy



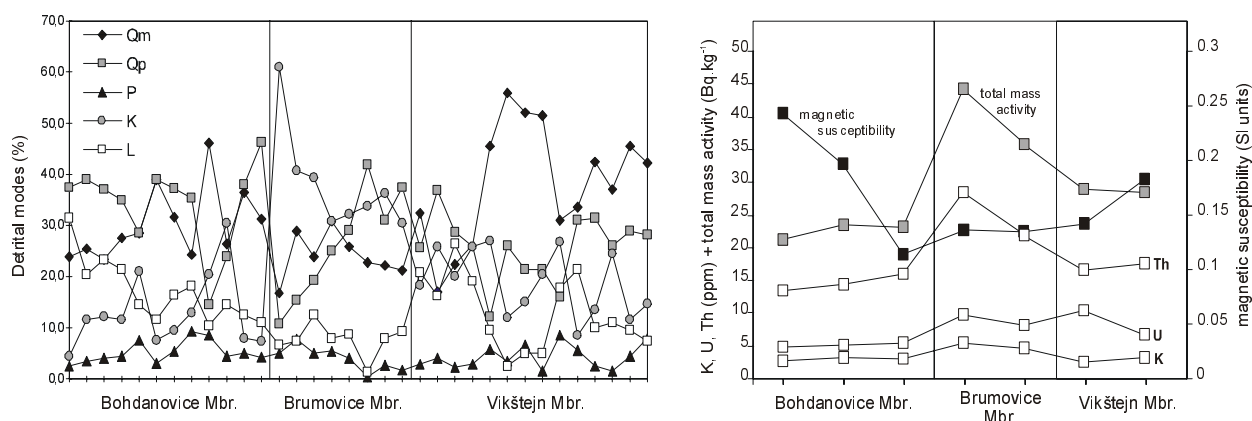
Obr. 1 – Pozice jednotlivých modálních analýz psamitů moravického souvrství (MS) v trojúhelníkovém diagramu podle Dickinsona (1985) (vlevo) a v diagramu Qm/Qp/L (vpravo). Litostratigrafické schéma členů MS se stratigrafickou pozicí vzorkovaných lokalit je uvedeno zcela vpravo.

Fig. 1 – Data points of individual modal analyses from the Moravice Formation (MF) shown in ternary diagram with compositional fields according to Dickinson (1985) (left) and in a Qm/Qp/L ternary diagram (centre). Lithostratigraphic log of the MF showing position of sampled locations (right). Qm - monomineral quartz, Qp - polycrystalline quartz, L - lithic clasts.

křemene celkem 61,0 %, živců celkem 25,8 % a litických klastů celkem 13,2 % (obr. 1, 2). Modální složení podle Dickinsona (1985) odpovídá recyklovanému orogénu až přechodnému kontinentálnímu zdroji (obr. 1). Směrem do nadloží se ve složení drob MS objevují statisticky významné posuny v minerálním složení. Ve spodní části MS (Goα1 až Goα2, bohdanovické vrstvy) do nadloží statisticky mírně klesají obsahy celkového křemene, mírně stoupá poměr Qm/Qp z hodnot <1,0 do hodnot ~1,0, mírně stoupají obsahy živců a relativně prudce klesají obsahy litických klastů (obr. 1, 2). Na bázi brumovických vrstev ve střední části MS (Goα3/4) nastává prudký nárůst K-živců, jejichž obsahy potom v průběhu brumovických vrstev do nadloží mírně klesají (Goα3/4 až Goβfa). Ve stejném intervalu mírně roste obsah celkového křemene, poměr Qm/Qp

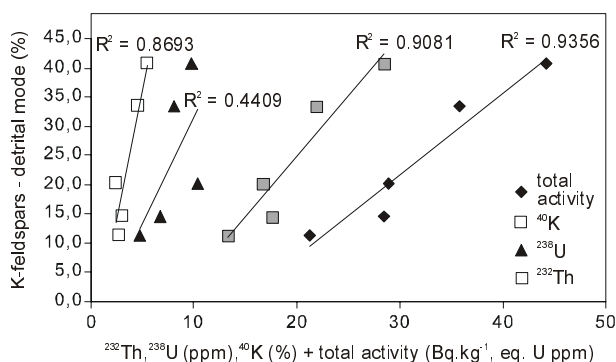
mírně stoupá na hodnoty >1,0 a obsahy litických klastů se obecně nemění. Ve svrchní části MS, na bázi vikštejnských vrstev (Goβel) nastává další pokles obsahů K-živců a v celém intervalu sedimentace vikštejnských vrstev (Goβel až Goβspi) poměrně rychle stoupají obsahy celkového křemene, poměr Qm/Qp stoupá z hodnot až do hodnot >2,0 a klesají obsahy litických klastů (obr. 1, 2). Mezi litickými klasty uvnitř MS obecně stoupá podíl metamorfítů a klesá podíl sedimentů. Ve spodní části MS tyto trendy obecně indikují pokles přísunu materiálu především ze sedimentárních souborů a nárůst přísunu materiálu z metamorfovaných a magmatických komplexů.

Ve spodní části MS (bohdanovické v.) jsou obsahy K, U, Th a hodnoty celkové aktivity horniny relativně nejnižší (obr. 2). Naměřené hodnoty magnetické susceptibility



Obr. 2 – Výsledky jednotlivých modálních analýz z celkem 8 vzorkovaných lokalit psamitů MS (vlevo) a aritmetické průměry výsledků gamaspektrometrického měření a měření magnetické susceptibility ze 7 vzorkovaných lokalit (vpravo) uspořádané v časové řadě od nejstarších členů po nejmladší členy MS (zleva-doprava).

Fig. 2 – Results of individual modal analyses from a total of 8 sampled locations within the MF (left) and mean values of gamma-ray spectrometry and magnetic susceptibility measurements taken from 7 sampled locations (left) in time-series from the oldest to the youngest members of the MF (from the left to the right).



Obr. 3 – XY bodový diagram znázorňující korelaci mezi obsahy K-živců z modálních analýz (vertikální osa) a výsledky gamaspektrometrických měření (horizontální osa). Korelace je znázorněna pomocí linie trendu a koeficientů lineární regrese R^2 .

Fig. 3 – Bivariate scatter plot showing graphic correlation between K-feldspar percentages calculated from modal analyses (vertical axis) and results from gamma-ray spectrometry measurements (horizontal axis). The correlation is represented by best-fit lines of linear regression and linear regression coefficients R^2 .

jsou na bázi bohdanovických vrstev nejvyšší, avšak v průběhu sedimentace bohdanovických vrstev postupně klesají. Poměrně prudký nárůst obsahů U a K a především obsahů Th a celkové aktivity byl zaznamenán na bázi brumovických vrstev. Směrem do nadloží v intervalu sedimentace brumovických a vikštejnských vrstev generálně klesají obsahy U, K, Th i hodnoty celkové aktivity a naopak mírně stoupají hodnoty magnetické susceptibilitity (obr. 2).

Naměřené hodnoty byly korelovány s obsahy jednotlivých minerálních skupin z modálních analýz v bivariačních korelačních diagramech (obr. 3), pro které jsme spočítali koeficienty lineární regrese R (přesněji R^2). Vysoké hodnoty R^2 indikují velmi dobrou pozitivní korelaci mezi obsahy draselného živce a celkovou aktivitou horniny ($R^2 = 0,9356$), obsahy K-živce a Th ($R^2 = 0,9081$) a obsahy K-živce a K ($R^2 = 0,8693$). Ostatní minerální skupiny (tab. 1) vykazují obecně velmi špatnou pozitivní nebo negativní korelaci se všemi hodnotami zjištěnými gamaspektrometrií ($R^2 = 0,0006$ až $0,6254$). Poměrně dobrá negativní korelace

je pozorovatelná mezi obsahy litických klastů celkem a obsahy U ($R^2 = 0,7163$). Podobně, velmi dobrá pozitivní korelace byla zjištěna mezi obsahy litických klastů celkem a hodnotami magnetické susceptibilitity ($R^2 = 0,9709$), avšak korelace ostatních minerálních skupin se susceptibilitou je jinak velmi špatná.

V rámci MS můžeme pozorovat zřetelné stratigrafické trendy v obsahu minerálních skupin. Napříč celým souvrstvím plynule stoupá poměr Qm/Qp, klesají obsahy celkových litických klastů a stoupá poměr Lm/Ls. O něco složitější trendy pozorujeme u obsahů celkového křemene a K-živců. Ve spodní části MS (Go α 1 až Go α 2, bohdanovické vrstvy) mírně klesají obsahy celkového křemene a mírně stoupají obsahy K-živců. K výrazné změně dochází na bázi brumovických vrstev (Go α 3/4), kdy prudce stoupají obsahy K-živců. V průběhu sedimentace brumovických vrstev a vikštejnských vrstev (Go α 3/4 až Go β spi) pak obsahy celkového křemene stoupají a obsahy K-živců plynule klesají. Tyto trendy v obsazích minerálních skupin MS indikují zvyšování podílu relativně výše metamorfovaných hornin vůči relativně níže metamorfovaným a sedimentárním horninám ve zdrojové oblasti. K podobnému závěru dospěli i Hartley a Otava (2001), kteří interpretují postupné zvyšování podílu pyrop/almandinové složky ku grosulárové složce v granátech v jimi definované střední zóně těžkých minerálů (Go α až sp. část Go β), do které spadá i MS, jako změnu provenience ve prospěch vysokometamorfovaných hornin. Podobné trendy jsou charakteristické pro kolizní pánve typu moravskoslezského kulmu a zpravidla indikují postupné odstřešování nižších korových pater ve zdrojové oblasti svrchní litosférické desky (např. Dorsey 1988). Zvýšené obsahy K-živce na bázi brumovických vrstev mohou odrážet sedimentaci z relativně lokálního zdroje obohaceného o magmatické horniny.

Terénní gamaspektrometrická měření a měření magnetické susceptibilitity (viz níže) můžeme v sedimentech kulmské facie použít k přímému odhadu relativního obsahu litických klastů (nepřímo úměrné magnetické susceptibilitě) a draselného živce (přímo úměrné obsahům Th, K a hodnotám celkové aktivity). Výsledky jsou použitelné jako doplňkové kritérium při geologickém mapování. Tato metoda je velmi rychlá a levná (s výjimkou počáteční investice do přístrojů). Je však nutné ji jednotně aplikovat na předem zvolený faciální typ (v našem případě několik dm až m mocné polohy hrubozrnných drob) a v případě

	Qm	Qp	K	P	L
40K	-0.5125	-0.0139	0.8693	-0.0299	-0.2525
238U	0.0607	-0.6254	0.4409	0.0793	-0.7163
232Th	-0.2253	-0.1632	0.9081	0.0023	-0.4085
total activity	-0.1715	-0.1934	0.9356	0.0006	-0.5266
magnetic susceptibility	0.0004	0.2717	-0.6139	0.0062	0.9709

Tab. 1 – Tabulka koeficientů lineární regrese (R^2) znázorňujících pozitivní (bez znaménka) nebo negativní korelaci (znaménko -) mezi obsahem jednotlivých minerálních skupin (Qm, Qp, K, P, L, viz text) a naměřenými gamaspektrometrickými hodnotami a hodnotami magnetické susceptibilitity.

Tab. 1 – Linear regression coefficients (R^2) showing positive (no sign) and negative (- sign) correlation between detrital modes (Qm, Qp, Kf, Pf, L, see the text) and gamma-ray and magnetic susceptibility measurements. For explanations of Qm, Qp, L see Fig. 1, Kf - potassium feldspars, Pf - plagioclase feldspars.

magnetické susceptibility, která je orientovanou veličinou, ných z různě orientovaných povrchů.
zjistit aritmetický průměr z většího počtu hodnot naměře-

Tato práce vznikla za podpory GA ČR, projekt 205/00/0118.

Literatura:

- Dickinson, W. R. (1985): Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. – In: Zuffa, G.G. (ed.): Provenance of Arenites. NATO Adv. Ser. C, Vol. 148, D.Riedel Publ. Comp, 333-361.
- Dickinson, W. R. – Suczek, C. A. (1979): Plate tectonics and sandstone compositions. – Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 63, 2164-2182.
- Dorsey, R. (1988): Provenance evolution and unroofing history of a modern arc-continent collision: evidence from petrography of Plio-Pleistocene sandstones, eastern Taiwan. – J. Sedim. Petrol., 58, 208-218.
- Dvořák, J. (1994): Variský flyšový vývoj v Nížkém Jeseníku na Moravě a ve Slezsku. - Práce Čes. geol. Úst., 3, 1-77. Praha
- Hartley, A. – Otava, J. (2001): Sediment provenance and dispersal in a deep marine foreland basin: the Lower Carboniferous Culm Basins, Czech Republic. – J. Geol. Soc. (London), 158, 137-150.
- Ingersoll, R. V. – Bullard, T. F. – Ford, R. L. – Grimm, J. P. – Pickle, J. D. – Sares, S. W. (1984): The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. – J. Sedim. Petrol., 54, 103-116.
- Kumpera, O. – Martinec, P. (1995): The development of the Carboniferous accretionary wedge in the Moravian-Silesian Paleozoic Basin. – J. Czech Geol. Soc., 40, 47-60.
- Lowe, D. R. (1982): Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. – J. Sedim. Petrol., 52, 279-297.
- Maštera, L. (1987): Litologické zhodnocení sedimentů moravického souvrství (svrchní visé) ve vrtu Potštát-1 do hloubky 2866,5 m. (MS) Ústř. Úst. Geol., 1-20. ČGÚ Brno
- Maštera, L. (1997): Petrofaciální zhodnocení drob hornobenešovského, moravického a hradecko-kyjovického souvrství v Nížkém Jeseníku (severní Morava). – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1996. 125-127.
- Maštera, L. (1998): Sedimentologicko-litologické zhodnocení vrtu Olomouc-1. – Čas. Slez. zem. Muz., Sér. A., 47, 41-49.
- Shanmugam, G. (1996): High-density turbidity currents: are they sandy debris flows? – J. Sedim. Res., 66, 2-10.